

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. März 2001 (22.03.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/19653 A1

(51) Internationale Patentklassifikation: B60T 8/00,
B62D 7/15, G05D 1/08

[DE/DE]; Guerickestrasse 7, 60488 Frankfurt am Main (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/08799

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. September 2000 (08.09.2000)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ROLL, Georg [DE/DE]; Hegelstrasse 2, 63150 Heusenstamm (DE). LÜDERS, Ulrich [DE/DE]; Lerchenstr. 3, 31303 Burgdorf (DE). OEHLER, Rainer [DE/DE]; Finkenweg 48, 64295 Darmstadt (DE). RASTE, Thomas [DE/DE]; Weisskirchener Str. 15a, 61440 Oberursel (DE). RAITZ VON FRENTZ, Hubertus [DE/DE]; Konrad-Meyer-Weg 17, 65936 Frankfurt (DE). IZSAK, Karl [DE/DE]; Messkircher Str. 53, 68239 Mannheim (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
199 43 500.6 10. September 1999 (10.09.1999) DE
100 11 779.1 10. März 2000 (10.03.2000) DE

(74) Gemeinsamer Vertreter: CONTINENTAL TEVES AG & CO. OHG; Guerickestrasse 7, 60488 Frankfurt am Main (DE).

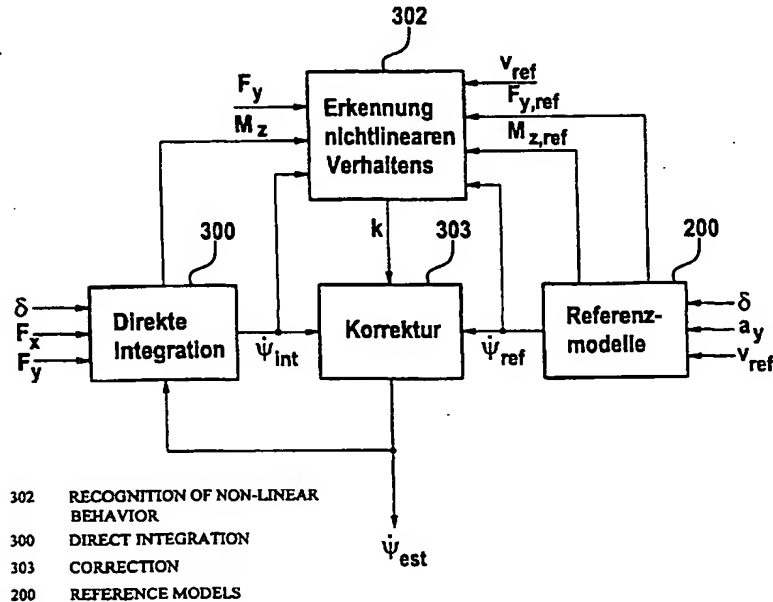
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CONTINENTAL TEVES AG & CO. OHG

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A YAWING MOMENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES GIERMOMENTS



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a yawing moment of a vehicle which is formed from the comparison of an actual yaw angle speed with a specified yaw angle speed and, optionally, with other quantities. In order to be able to control the driving stability of the vehicle without the use of yaw rate sensors, the actual yaw angle speed is estimated by integrating the yaw angle acceleration while taking into account the steering angle and the actual forces acting upon the tire.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/19653 A1

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs, das aus dem Vergleich einer Istgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit und ggf. weiteren Grössen gebildet wird. Um eine Regelung der Fahrstabilität des Fahrzeugs ohne Gierratensor zu ermöglichen, wird die Istgierwinkelgeschwindigkeit unter Einbeziehung der am Reifen angreifenden Istkräfte und des Lenkwinkels über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung geschätzt.

Verfahren zur Regelung eines Giermoments

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bekannte Giermomentenregelungen stabilisieren das Fahrverhalten des Fahrzeugs bei Kurvenfahrten durch Vergleich einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Istgierwinkelgeschwindigkeit, die von einem Gierratensensor gemessen wird, welcher geringste Änderungen der Istgierwinkelgeschwindigkeit erfasst. Bei Abweichung der Istgierwinkelgeschwindigkeit von der Sollgierwinkelgeschwindigkeit, die mindestens in Abhängigkeit von den Größen Lenkradwinkel, Fahrzeugreferenzgeschwindigkeit und Reibwert berechnet wird, wird diese Differenz in Steuersignale für bestimmte Stellelemente umgerechnet, durch deren Betätigung dann sich die Istgierwinkelgeschwindigkeit an die Sollgierwinkelgeschwindigkeit annähert.

Ferner sind Druckschriften bekannt, die sich mit dem Erfassen und Auswerten der am Fahrzeugreifen angreifenden Kräfte und Momente befassen (WO 96/10505, WO 97/44673). Ein Reifensensor, insbesondere dessen Ausbildung, ist in der DE 196 20 582 A1 beschrieben.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

- 2 -

Darüber hinaus ist es aus der DE 196 24 795 A1 bekannt, daß anhand von Reifensensoren Kräfte und Momente in Längs-, Quer- und Vertikalrichtung errechnet werden können. Eine Giermomentenregelung auf der Basis der am Reifen angreifenden Kräfte soll so aussehen, daß ein Sollgiermoment errechnet wird. Dieses Sollgiermoment wird in Sollkräfte umgerechnet, welche an den jeweiligen Fahrzeugreifen angreifen, wenn das Sollgiermoment mit dem Istgiermoment übereinstimmt. Danach werden dann die Istkräfte, welche an den Fahrzeugreifen angreifen, auf die Sollkräfte hin geregelt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs anzugeben, bei dem eine Istgierwinkelgeschwindigkeit ohne Gierratensensor ermittelt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Die Erfindung sieht also vor, daß innerhalb einer Fahrdynamikregelung (ESP) eine Gierwinkelgeschwindigkeit (Gierrate) unter Einbeziehung von Reifenkraftsignalen und des Lenkwinkels über eine Integration einer Gierwinkelbeschleunigung geschätzt wird. Die Gierrate wird vorzugsweise durch Integration der Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung

- 3 -

F1.1

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

bestimmt.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die Gierwinkelbeschleunigung aus der Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse nach der Beziehung F1.2-1.3 gebildet.

F1.2

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

F1.3

$$\begin{aligned} M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr} \end{aligned}$$

In die Momentenbilanz gehen neben den Reifenkraftsignalen als Signal der Lenkwinkel ein. Die Schätzung der Gierrate wird also über die direkte Integration der Momentenbilanz unter Einbeziehung eines Korrekturwertes oder einer Korrekturgröße durchgeführt.

Die diskretisierte Form der Integration nach der Beziehung F1.1 kann z.B. durch einen Euler-Ansatz

F1.4

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) * \Delta t$$

realisiert werden.

- 4 -

Die Bestimmung einer Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit führt zu dem wirtschaftlichen Vorteil der Einsparung eines Gierratensensors in ESP-Systemen. Ebenso kann die Bestimmung einer Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit zur funktionalen Verbesserung eines ESP-Systems, welches einen Gierratensensor aufweist, genutzt werden.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß eine Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit als Istgröße bei einer Fahrdynamikregelung verwendet werden kann, wenn die mittels direkte Integration der Gierbeschleunigung geschätzte Gierrate durch Korrekturgrößen oder Korrekturwerte gestützt wird, um die bei dem vorgesehenen Verfahren der direkten Integration unvermeidbar auftretenden Drifteffekte durch Akkumulation von Fehlern zu reduzieren. Es erfolgt entsprechend der Erkennung des nichtlinearen Fahrverhalten des Fahrzeuges eine Korrektur der integrierten Gierrate über Referenzwerte oder Referenzgrößen. Ein Verfahren zur Erkennung des nichtlinearen Fahrverhaltens sowie der Bestimmung des Referenzwertes oder der Referenzgröße verwendet unterschiedliche Referenzgierraten die einzeln oder in Kombination miteinander zur Erkennung des nichtlinearen Fahrverhaltens und/oder zur Korrektur der durch direkte Integration ermittelten Gierrate dienen.

Bei dem Verfahren zur Schätzung eines Fahrzeuggierratensignals zur Stabilitätsregelung unter Einbeziehung von Radkraftsignalen, wird die Schätzung der Gierrate daher über eine direkte Integration der Momentenbilanz durchgeführt und zur Vermeidung von Drifteffekten die geschätzte Gierrate (integrierte Gierrate) permanent mit Hilfe von berechne-

- 5 -

ten Referenzgierraten korrigiert. Eine Referenzgierrate wird nach dem stationären Einspurmodell aus dem Lenkradwinkel, der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit), dem Eigenlenkgradient und dem Radstand gemäß der Beziehung

F2.1

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

berechnet.

Eine weitere Referenzgierrate wird aus der Querbeschleunigung und der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit) nach der Beziehung

F2.2

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

berechnet.

Eine dritte Referenzgierrate wird aus Gierbeschleunigung nach der Beziehung

F2.3

$$\ddot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$$

berechnet.

Zusätzlich zum Referenzgierratensignal können Referenz-Seitenkräfte der Vorder- und Hinterachse sowie ein Referenzmoment mit dem Einspurmodell bestimmt werden.

- 6 -

Die Korrekturen der integrierten Gierrate auf eine Referenzgierrate, insbesondere bei Fahrzeugen, die sich im li-

nearen Bereich befinden, nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$\dot{\psi}_{ref}$ aus $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$ oder

$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{1 + EG v_{ref}^2}$ mit $EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$ erfolgt immer dann,

wenn die Referenzgierraten nach den Beziehungen

$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{1 + EG v_{ref}^2}$ mit $EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$ und $\dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ in einem

Band liegen, das durch $|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1$ bestimmt wird.

Der Schwellenwert k_1 ist kleiner 5 Grad pro Sekunde, vorzugsweise liegt der Wert k_1 in einem Bereich zwischen 2 und 3,5 Grad pro Sekunde.

Nach einer weiteren oder zusätzlichen zweiten Ausführungsform erfolgt die Korrektur der integrierten Gierrate auf

eine Referenzgierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$\dot{\psi}_{ref}$ aus $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$ oder

$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{1 + EG v_{ref}^2}$ mit $EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$, insbesondere bei

Fahrzeugen, die sich im linearen Bereich befinden, immer dann, wenn die Differenz zwischen dem am Fahrzeug gemessenen Moment M_z und dem anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Moment nach der Beziehung $M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\psi}_{ref}$

- 7 -

innerhalb eines Bandes liegen, das durch $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$ bestimmt wird. Der Schwellenwert k_2 ist kleiner 1000 Nm, vorzugsweise liegt k_2 im Bereich zwischen 200 und 500 Nm. Zusätzlich zu oder anstatt der Bedingung, daß der Schwellenwert k_2 unterschritten werden muß, kann auch die Bedingung vorgesehen sein, daß die Referenzgierrinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ innerhalb eines Bandes liegen müssen, das

durch $|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1$ bestimmt wird, mit k_1 kleiner 5 Grad pro Sekunde.

Nach einer weiteren oder zusätzlichen dritten Ausführungsform erfolgt die Korrektur der integrierten Gierrate auf

eine Referenzgierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$\dot{\psi}_{ref}$ aus $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$ oder

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right), \quad \text{insbesondere bei}$$

Fahrzeugen, die sich im linearen Bereich befinden, immer dann, wenn die Differenz der zwischen den am Fahrzeug gemessenen Seitenkräften F_v und den anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Seitenkräften $F_{v,ref}$ nach der Beziehung

- 8 -

$$F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref} \quad \text{mit}$$

$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$ bestimmt wird. Der Schwellenwert k_3 ist kleiner 500 N, vorzugsweise liegt der Schwellenwert in einem Bereich zwischen 100 und 300 N. Zusätzlich zu oder anstatt der Bedingung, daß k_3 unterschritten werden muß, kann auch die Bedingung vorgesehen sein, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ innerhalb eines Bandes liegen, das durch

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$ bestimmt wird, mit k_1 kleiner 5 Grad pro Sekunde.

Um eine unbeabsichtigte Korrektur, d.h. ein unbeabsichtigtes Zurücksetzen auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bei einem Nulldurchgang der Differenzsignale

$$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| \quad \text{und/oder}$$

$$|M_z - M_{z,ref}| \quad \text{und/oder}$$

$$|F_y - F_{y,ref}|$$

- 9 -

zu vermeiden, muß die Bedingung

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$ oder $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$ oder $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$, mindestens für eine Dauer T_s erfüllt sein, bevor auf eine der Referenzgierraten zurückgesetzt werden kann.

Der Schwellenwert T_s sollte nicht kleiner als 100 ms gewählt werden, vorzugsweise ist $T_s = 150$ ms.

Eine weitere Korrektur der integrierten Gierrate auch während hochdynamischer Fahrzustände erfolgt derart, daß die integrierte Gierrate schrittweise in Richtung der Referenz-

gierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref1} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ korrigiert wird, solange sie außerhalb eines Bandes liegt, das durch die beiden Referenzgierraten nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right) \quad \text{und} \quad \dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad \text{bestimmt}$$

wird.

Die Korrektur der integrierten Gierrate erfolgt auch während hochdynamischer Fahrzustände immer dann, wenn die integrierte Gierrate Werte angenommen hat, die außerhalb des physikalisch möglichen Bereichs liegen.

Die in der Anmeldung verwendeten Größen haben folgende Bedeutung:

$\dot{\psi}_{est}$ Schätzgröße der Gierrate

$\dot{\psi}_{int}$ Gierrate aus direkter Integration

- 10 -

$\dot{\psi}_{ref}$ Referenzgierrate
 $\ddot{\psi}$ Gierbeschleunigung
 $F_{x_vl/r}$ Längskräfte vorne links/rechts
 $F_{x_hl/r}$ Längskräfte hinten links/rechts
 $F_{y_vl/r}$ Seitenkräfte vorne links/rechts
 $F_{y_hl/r}$ Seitenkräfte hinten links/rechts
 M_z Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse
 l Radstand
 l_v Abstand zwischen Schwerpunkt und Vorderachse
 l_h Abstand zwischen Schwerpunkt und Hinterachse
 $b_{vl/r}$ Abstand zwischen Radaufstandspunkt und der Schwerpunktlängsachse, vorne links/rechts
 $b_{hl/r}$ Abstand zwischen Radaufstandspunkt und der Schwerpunktlängsachse hinten links/rechts
 m Fahrzeugmasse
 Θ Trägheitsmoment um die Fahrzeughochachse
 v_{ref} Fahrzeuglängsgeschwindigkeit
 δ Lenkwinkel am Rad
 EG Eigenlenkgradient
 C_v Schräglaufsteifigkeit Reifen vorne
 C_h Schräglaufsteifigkeit Reifen hinten
 a_y Fahrzeugquerbeschleunigung
 k_1 Schwellenwert für die Referenzgierrate
 k_2 Schwellenwert für die Momentenbilanz
 k_3 Schwellenwert für die Kräftebilanz
 k Korrekturfaktor
 α_v Schräglaufwinkel der Vorderachse
 α_h Schräglaufwinkel der Hinterachse

- 11 -

T_s Schwellenwert für die Gierratenkorrektur

Ein Ausführungsbeispiel ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

Fig.1 eine schematische Darstellung der Reifenkräfte in radfesten Koordinatensystemen

Fig.2 eine Gesamtstruktur einer Giermomentenregelung

Fig.3 eine schematische Darstellung der Regelstruktur

In Fig. 1 sind die Reifenkräfte in den radfesten Koordinatensystemen eines Fahrzeugs beispielhaft dargestellt. Die durch den Reifen-Fahrbahn-Kontakt an den Reifen auftretenden Kräfte der einzelnen Räder können Radlängskräfte, Querkräfte und/oder Radaufstandskräfte sein. In Fig. 1 sind beispielhaft Radumfangskräfte F_x (Längskräfte) und F_y (Querkräfte) in den radfesten Koordinatensystemen eines Fahrzeugs dargestellt. Die Kräfte werden mit Indices bezeichnet. Es gilt

h = Hinterachse des Fahrzeugs

v = Vorderachse des Fahrzeugs

r = rechts

l = links

ref = Referenzgröße

l = Abstand der Achse vom Schwerpunkt

- 12 -

b = halbe Spurweite des Rades.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Gesamtstruktur einer Giermomentenregelung, wobei das Fahrzeug mit seinen Radbremsen die Regelstrecke 204 bildet.

Auf das Fahrzeug wirken die vom Fahrer gegebenen Größen Fahrerbremsdruck (nicht dargestellt) und Lenkwinkel δ . Am Fahrzeug werden die hieraus resultierenden Größen Motor-Istmoment, Querb beschleunigung, Raddrehzahlen, Hydrauliksignale (wie Radbremsdrücke) und die Radumfangskräfte F_x und Querkkräfte F_y ermittelt. Hierzu stehen als Sensorik ein Lenkwinkelsensor, ein Querb beschleunigungssensor sowie Radgeschwindigkeitssensoren und Radkraftsensoren, wie Reifensensoren, zur Verfügung. Die Ermittlung der Längs- und Querkkräfte erfolgt bevorzugt mittels Reifensensoren, welche Signale aus der Verformung der Reifen, insbesondere der Reifenseitenwand, generieren, aus denen sich die Längs(F_x)- und Querkkräfte (F_y) bestimmen lassen. Die ermittelten Längs- und Querkkräfte werden einem Giermomenten(GMR)-Regelgesetz 201 und einer Reibwert- und Zustandsschätzung 203 zugeführt.

Im GMR-Regler sind Fahrzeug-Referenzmodelle 200 abgelegt, welche anhand des Lenkwinkels δ , der Fahrzeug-Referenzgeschwindigkeit v_{ref} , der Querb beschleunigung a_y sowie dem in der Reibwert- und Zustandsschätzung geschätzten Reibwert $\hat{\mu}$ ein Referenz-Giermoment $M_{z,ref}$ oder Referenz-Querkkräfte $F_{y,ref}$ oder, wie in den folgenden Ausführungen beschrieben, Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten berechnet.

- 13 -

Weiterhin werden Referenzgierraten aus dem stationären Einspurmodell und der Fahrzeugquerbeschleunigung ermittelt. Die Reibwert- und Zustandsschätzung 203 verwendet für ihre Rechnungen die Fahrzeug-Referenzgeschwindigkeit v_{ref} , die gemessene Fahrzeugquerbeschleunigung a_y , die aus den Reifensensoren bzw. Radkräftesensoren berechneten Radkräfte F_y und F_x , sowie den Lenkwinkel δ . Neben der Schätzung des Reibwertes wird in der Reibwert- und Zustandsschätzung 203 u.a. eine Zustandsschätzung vorgenommen, die Informationen über den aktuellen Fahrzustand, der z.B. durch die Gierrate gekennzeichnet ist, bestimmt. Über die Eingangsgrößen kann hierzu eine Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit vorgenommen werden, die an das GMR-Regelgesetz 201 weitergegeben wird. In dem Regelgesetz 201 werden die im Fahrzeug-Referenzmodell 200 berechneten Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten mit den aus den ermittelten Radkräften F_y , F_x , dem Lenkradwinkel δ und den Achsabständen zum Massenschwerpunkt des Fahrzeugs geschätzten Gierwinkelgeschwindigkeiten über den aktuellen Fahrzustand verglichen und das zu regelnde Giermoment ΔM bzw. die zu regelnde Gierrate $\Delta \dot{\psi}$ oder die Längskräfte F_x aus der Differenz der Gierwinkelgeschwindigkeiten bestimmt. Anhand dieser Gierwinkelgeschwindigkeitsdifferenz und/oder dem daraus abgeleiteten Giermoment und/oder den daraus abgeleiteten Längskräften wird eine Stellgröße so berechnet, daß das fehlende Giermoment, die fehlende Gierrate bzw. die fehlende Längskraft ergänzt wird und das Fahrzeug 204 in einem beherrschbaren Zustand hält. Die Stellgröße erzeugt ein Zusatz-Giermoment ΔM um die Fahrzeughochachse durch aktive Brems Eingriffe, also Brems eingriffe ohne Bremsbetätigung des Fahrers, durch Kraft-

- 14 -

oder Bremsdruckvorgaben und/oder Motoreingriffe. Das Zusatzgiermoment kann hierzu in Kraftanforderungen für die einzelnen Räder umgerechnet werden.

Die Kraftanforderungen der einzelnen Räder werden dem unterlagerten Stellregelkreis 202 als Sollwerte zugeführt. Der Stellregelkreis 202 erzeugt die Stellsignale in Form von z.B. Ventilschaltzeiten, Bremsdrücken, Spannkraften, Stromgrößen oder Motor-Antriebsmomenten.

Das in dem Regelgesetz 201 ermittelte Zusatzgiermoment basiert auf einem Vergleich der berechneten Sollgierrate mit einer geschätzten Istgierrate, die unter Zugrundelegung von Figur 3 wie folgt bestimmt wird:

Das Verfahren zur Schätzung des Fahrzeuggierratensignals zur Regelung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs erfolgt über die direkte Integration der Gierbeschleunigung. Die Gierrate wird durch Integration der Gierbeschleunigung nach der Beziehung

F1.1

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

bestimmt. Die Gierbeschleunigung wird aus der Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse gebildet, nach der Beziehung F1.2-1.3

F1.2

- 15 -

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

F1.3

$$\begin{aligned} M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr} \end{aligned}$$

Neben den Reifenkraftsignalen wird als Signal der Lenkwinkel am Rad benötigt. Die diskretisierte Form der Integrati-

on nach der Beziehung $\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$ kann z.B. durch einen

Euler-Ansatz

F1.4

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) * \Delta t$$

realisiert sein.

Bei diesem Verfahren zur Schätzung des Gierratensignals treten unvermeidbar Drifteffekte durch Akkumulation von Fehlern auf. Um diese Effekte zu begrenzen, wird die direkte Integration 300 durch folgende Referenzmodelle 200 gestützt:

Referenzmodelle

Als Referenzgierraten werden die nachfolgend aufgeführten Signale verwendet, die im fahrdynamisch linearen Bereich weitgehend der tatsächlichen Gierrate entsprechen. Diese Signale dienen einzeln oder in Kombination miteinander zur Korrektur des durch direkte Integration ermittelten Gierratensignals nach der vorhergehenden Beschreibung.

- 16 -

Gierrate aus stationärem Einspurmodell

Das erste Referenzgierratensignal wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung

F2.1

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gebildet.

Gierrate aus Fahrzeugquerbeschleunigung

Das zweite Referenzgierratensignal wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung F2.2

F2.2

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

gebildet.

Gierrate aus dynamischem Einspurmodell

Ein weiteres Referenzgierratensignal kann aus dem dynamischen Einspurmodell ermittelt werden, d.h. es wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung F2.3

F2.3

- 17 -

$$\dot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$$

bestimmt.

Zusätzlich zum Referenzgierratensignal können Referenz-Seitenkräfte der Vorder- und Hinterachse sowie ein Referenzmoment mit dem Einspurmodell bestimmt werden.

Es erfolgt entsprechend der Erkennung des nichtlinearen Verhaltens 302 des Fahrzeuges eine Korrektur 303 der integrierten Gierrate. Die Verfahren zur Erkennung des nichtlinearen Verhaltens sowie der Bestimmung des Korrekturfaktors werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

Der Ablauf zur Bestimmung eines Schätzsignals der Gierrate innerhalb eines Auswerte- oder Rechenzyklusses erfolgt in drei Schritten:

1. Bestimmung der Referenzgierraten und eines Korrekturfaktors k
2. Korrektur der direkt integrierten Gierrate
3. Integrationsschritt

In Schritt 1 werden die Referenzgierraten (nach den Gleichungen F2.2 bis F2.3) bestimmt. Der Korrekturfaktor k , der den fahrdynamisch linearen Bereich $k=1$ oder den nichtlinearen Bereich $k=0$ bestimmt, wird wie folgt ermittelt:

Ausführungsbeispiel mit zwei Referenzgierraten

Wenn die beiden Referenzgierraten nach der Beziehung

- 18 -

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref_1} = \frac{a_v}{v_{ref}}$ innerhalb des Bandes liegen, das durch

$$|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1 \quad \text{für } T_s \geq 150ms \text{ bestimmt wird, dann ist der}$$

Korrekturfaktor $k=1$. Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem Korrekturfaktor $k=1$ im fahrdynamisch linearen Bereich. Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete

Referenzgierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_v}{v_{ref}}$ oder

$$\dot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{oder}$$

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

ersetzt bzw. z.B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist $k=0$, befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

Ausführungsbeispiel mit einer Momentendifferenz

Wenn der Betrag der Differenz des nach der Beziehung Fl.3

$$\begin{aligned} M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr} \end{aligned}$$

bestimmten Momentes und einem aus dem dynamischen Einspurmodell nach der Beziehung $M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\psi}_{ref}$ bestimmten Referenzmomentes kleiner als der nach der Beziehung

- 19 -

$|M_z - M_{z,ref}| < k_2$ für $T_s \geq 150ms$ bestimmte Schwellenwert k_2 ,

und/oder der Schwellenwert k_1 ist, dann ist der Korrekturwert $k=1$. Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem Korrekturfaktor $k=1$ im fahrdynamisch linearen Bereich. Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete Referenz-

gierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$\dot{\psi}_{ref}$ aus $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$, oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

ersetzt bzw. z.B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist $k=0$, befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

Ausführungsbeispiel mit einer Kraftdifferenz

Wenn der Betrag der Differenz der vorzugsweise mit Reifensensoren (Reifenseitenwandtorsions-Sensoren) gemessenen Seitenkraft (Summe der Seitenkräfte einer Achse) und einer Referenzseitenkraft nach der Beziehung $F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref}$ mit

$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

aus dem dynamischen Einspurmodell an der Vorderachse kleiner als der nach der Beziehung $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$ für $T_s \geq 150ms$ bestimmte Schwellenwert k_3 und/oder k_1 ist, dann ist der Korrekturwert $k=1$. Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem Korrekturfaktor $k=1$ im fahrdynamisch linearen Bereich.

- 20 -

Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete Referenzgierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$\dot{\psi}_{ref}$ aus $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$ oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

ersetzt bzw. z.B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist $k=0$, befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

Um eine unbeabsichtigte Korrektur, d.h. ein unbeabsichtigtes Zurücksetzen auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bei einem Nulldurchgang der Differenzsignale

$$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| \quad \text{und/oder}$$

$$|M_z - M_{z,ref}| \quad \text{und/oder}$$

$$|F_y - F_{y,ref}|$$

zu vermeiden, muß die Bedingung

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$ oder $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$ oder $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$ mindestens für eine Dauer T_s erfüllt sein, bevor auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten zurückgesetzt werden kann.

Schritt 2 erfolgt mit Hilfe der direkt integrierten Gierrate und einer Referenzgierrate (nach Gleichung F2.2 oder F2.3) unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors, d.h.

- 21 -

F2.4

$$\dot{\psi}_{est}(t_n) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + k * (\dot{\psi}_{ref}(t_n) - \dot{\psi}_{int}(t_n))$$

Im Schritt 3 wird für die Integration nach der Beziehung gemäß Gleichung F1.4

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) * \Delta t$$

das nach Gleichung F2.4 bestimmte Schätzsignal der Gierrate verwendet, d.h.

F2.5

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{est}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) * \Delta t$$

Erkennung des nichtlinearen Verhaltens

Solange sich das betrachtete Fahrzeug im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, kann die integrierte Gierrate permanent auf eine der Referenzgierraten gesetzt bzw. durch die gebildeten Signale ersetzt werden. Im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich entsprechen die Referenzgierraten nicht mehr der tatsächlichen Gierrate, so daß dann die freie bzw. direkte Integration der Gierbeschleunigung nach F1.1

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

F1.2

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

F1.3

- 22 -

$$\begin{aligned}
 M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\
 & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\
 & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr}
 \end{aligned}$$

ohne Korrektur ablaufen muß. In dieser Zeit der freien Integration entfernt sich das integrierte Gierratensignal kontinuierlich vom tatsächlichen Gierratensignal, wenn die Kräfte und Hebelarme nicht exakt bekannt sind und/oder wenn externe Kräfte und/oder Momente auf das Fahrzeug wirken (z.B. durch Seitenwind). Um diese Drift gering zu halten, wird eine Korrektur des integrierten Signals im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich vorgesehen. Dazu werden unter Einbeziehung der Referenzgierratensignale die Korrekturfaktoren $k=1$ oder $k=0$ herangezogen.

Ausführungsbeispiel mit zwei Referenzgierraten und weiteren Signalen

Es wird ein Korrekturfaktor bestimmt, der nicht nur die Werte 0 oder 1, sondern auch beliebige Zwischenwerte annehmen kann. Das Verfahren für die Korrektur arbeitet wie folgt: Die Lenkwinkelreferenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

zeigt den Fahrerwunschkurs an, während die Querbeschleunigungsreferenzgierrate nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ die Reaktion des Fahrzeuges unter stabilen Fahrbedingungen wieder-

- 23 -

gibt und verzögert auf die Vorgabe reagiert (Massenträgheit des Fahrzeuges).

Die tatsächliche, z.B. mittels eines hochauflösenden Sensors gemessene Gierwinkelgeschwindigkeit oder Gierrate des Fahrzeuges eilt beim Übergang vom stabilen in den instabilen Fahrzustand, der Querbeschleunigungsreferenzgierrate voraus. Unter diesen Bedingungen ist die tatsächliche Gierrate größer als die Querbeschleunigungsreferenzgierrate. Gleichzeitig hat die tatsächliche Gierrate in den meisten Fällen noch nicht die Kursvorgabe des Fahrers erreicht, sonst hätte der Fahrer zurückgelenkt und den Gierrataufbau beendet. Die tatsächliche Gierrate ist deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb des Bandes $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$

zu finden, das von den beiden Referenzgierraten aufgespannt wird.

Befindet sich die integrierte Gierrate außerhalb dieses Bandes $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$, so daß $k_1 \geq |\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$ ist, wird in jedem Berechnungszyklus ein kleiner Korrekturschritt zur Band-

grenze $\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2}$ mit $EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$

oder $\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ durchgeführt. Die Korrekturschrittweite ist

abhängig vom Abstand der integrierten Gierrate zur Bandgrenze, von den aktuellen Drehmomenten, dem Reibwert sowie der Geschwindigkeit. Sie beträgt vorzugsweise einen variablen Bruchteil der Differenz der integrierten Gierrate zur berechneten Gierrate (Bandgrenze). Die Schrittweite ist klein, verglichen mit der vorliegenden Abweichung, um über

- 24 -

den Mittelungseffekt vieler kleiner Einzelkorrekturen eine insgesamt genauere Korrektur zu erzielen.

Des weiteren kann der stabile Fahrbereich genutzt werden, um direkt auf eine Referenzgierrate ebenfalls in kleinen Schrittweiten in jedem Berechnungszyklus zu korrigieren. Dieser Fahrbereich wird erkannt über den Abstand der Referenzgierraten, über deren Gradienten, über die aktuellen Drehmomente, sowie über mittlere Momente. Zusätzlich werden Reibwert und Fahrzeuggeschwindigkeit verwendet. Alle diese Größen werden separat oder in Kombination verwendet, um die Korrekturschrittweiten festzulegen oder zu entscheiden, die Korrektur in diesem Berechnungszyklus nicht durchzuführen. Die Korrekturschrittweite ist auch beim zweiten Verfahren proportional dem Abstand integrierte Gierrate - Referenzgierrate.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs, das aus dem Vergleich einer Istgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit und ggf. weiteren Größen gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Istgierwinkelgeschwindigkeit unter Einbeziehung der am Reifen angreifenden Istkräfte und dem Lenkwinkel über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung geschätzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} M_z \text{ bestimmt wird.}$$

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine direkte Integration mit der Momentenbilanz nach der Beziehung

$$\begin{aligned} M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr} \end{aligned}$$

durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die geschätzte Gierwinkelgeschwin-

digkeit unter Einbeziehung von bestimmten, geschätzten und oder errechneten Korrekturgrößen oder Korrekturwerten in Abhängigkeit vom Fahrverhalten des Fahrzeugs korrigiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die geschätzte Gierwinkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einem linearen oder nicht linearen Fahrverhalten des Fahrzeugs nach mindestens zwei unterschiedlichen Strategien korrigiert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Korrekturgrößen oder Korrekturwerte Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bestimmt, geschätzt oder berechnet werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

des stationären Einspurmodells berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad \text{berechnet wird.}$$

- 27 -

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer ersten Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ oder

$$\dot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{oder}$$

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ innerhalb eines Bandes liegen, das durch

$$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1 \quad \text{bestimmt wird.}$$

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert k_1 kleiner 5 Grad pro Sekunde ist, vorzugsweise im Bereich zwischen 2 und 3,5°/s liegt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwin-

- 28 -

kelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad \text{oder} \quad \dot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{oder}$$

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Differenz zwischen der am Fahrzeug gemessenen Istgröße, die ein Moment wiedergibt und dem anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Moment nach der Beziehung

$$M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\psi}_{ref}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$ bestimmt wird, und/oder wenn die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref_1} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ innerhalb eines Bandes liegen, das durch

$$|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1 \quad \text{bestimmt wird.}$$

- 29 -

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert $k_1 < 1000$ Nm ist, vorzugsweise im Bereich zwischen 200 und 500 Nm liegt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad \text{oder} \quad \dot{\psi}_{ref} \quad \text{aus} \quad \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{oder}$$

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Differenz der zwischen den am Fahrzeug gemessenen Istgrößen, die die Seitenkräfte F_y wiedergeben und den anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Seitenkräften nach der Beziehung

$$F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref} \quad \text{mit}$$

$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$ bestimmt wird und/oder wenn die Referenzgierwinkelge-

- 30 -

schwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ innerhalb eines Bandes liegen, das durch

$$|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1 \text{ bestimmt wird.}$$

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert $k_1 < 500 \text{ N}$ ist, vorzugsweise in einem Bereich zwischen 100 und 300 N liegt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer zweiten Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit schrittweise in Richtung der Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach Gleichung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \text{ korrigiert wird, solange sie außerhalb eines}$$

Bandes liegt, das durch die beiden Referenzgiergeschwindigkeiten nach Gleichung

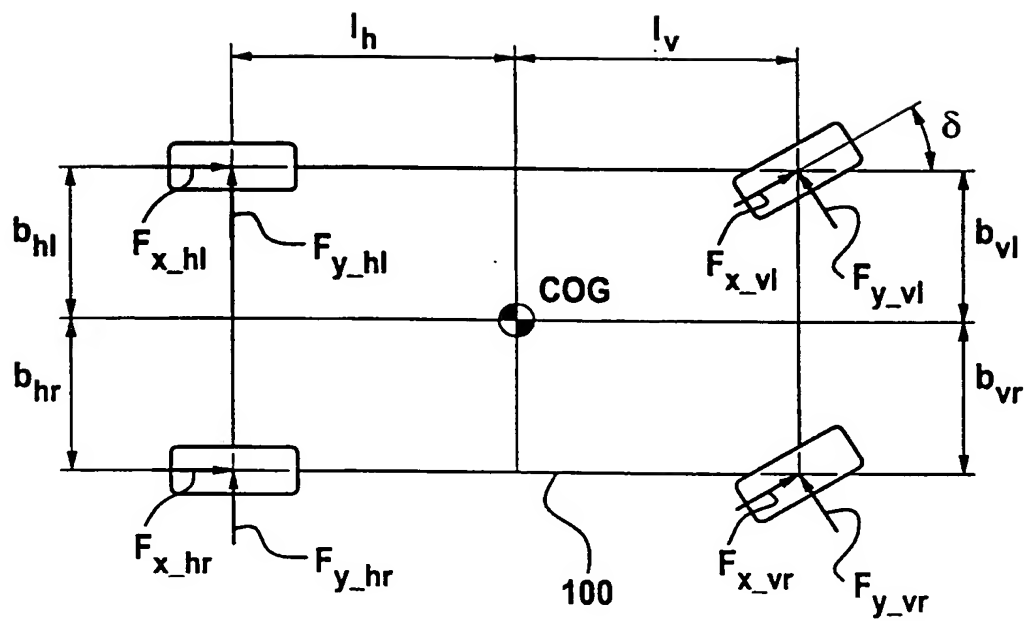
$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left(\frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und $\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$ bestimmt wird.

- 31 -

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit die Korrektur auch während hochdynamischer Fahrzustände immer dann erfolgt, wenn die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit Werte angenommen hat, die außerhalb des physikalisch möglichen Bereichs liegen.
17. Verfahren zum Schätzen einer Gierwinkelgeschwindigkeit für eine Fahrzeugstabilitätsregelung, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung durchgeführt wird und die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit mittels berechneter Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten korrigiert wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung
- $$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} M_z$$
- bestimmt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine direkte Integration der Momentenbilanz nach der Beziehung
- $$M_z = (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr}$$
- durchgeführt wird.

Fig. 1



2/3

Fig. 2

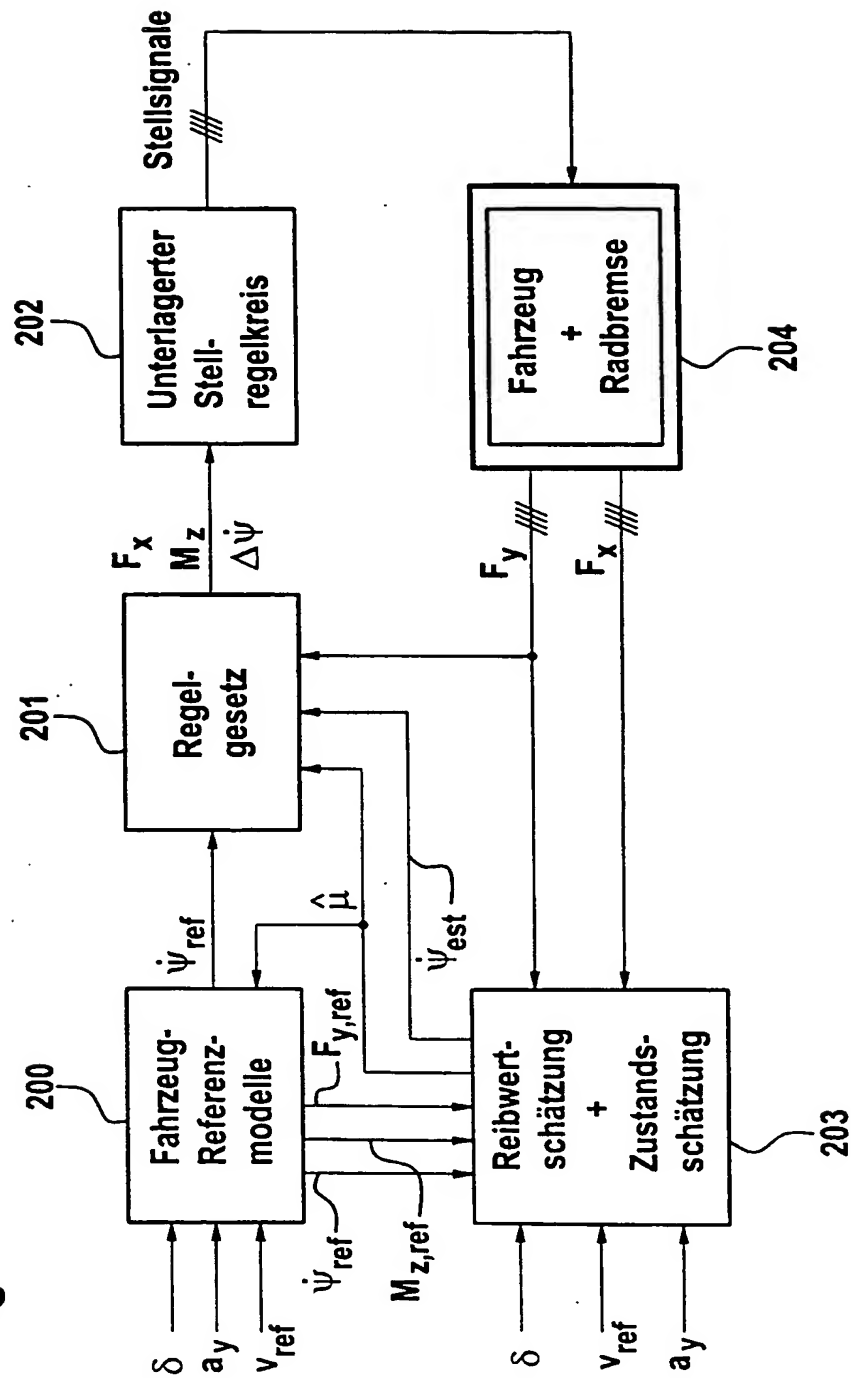
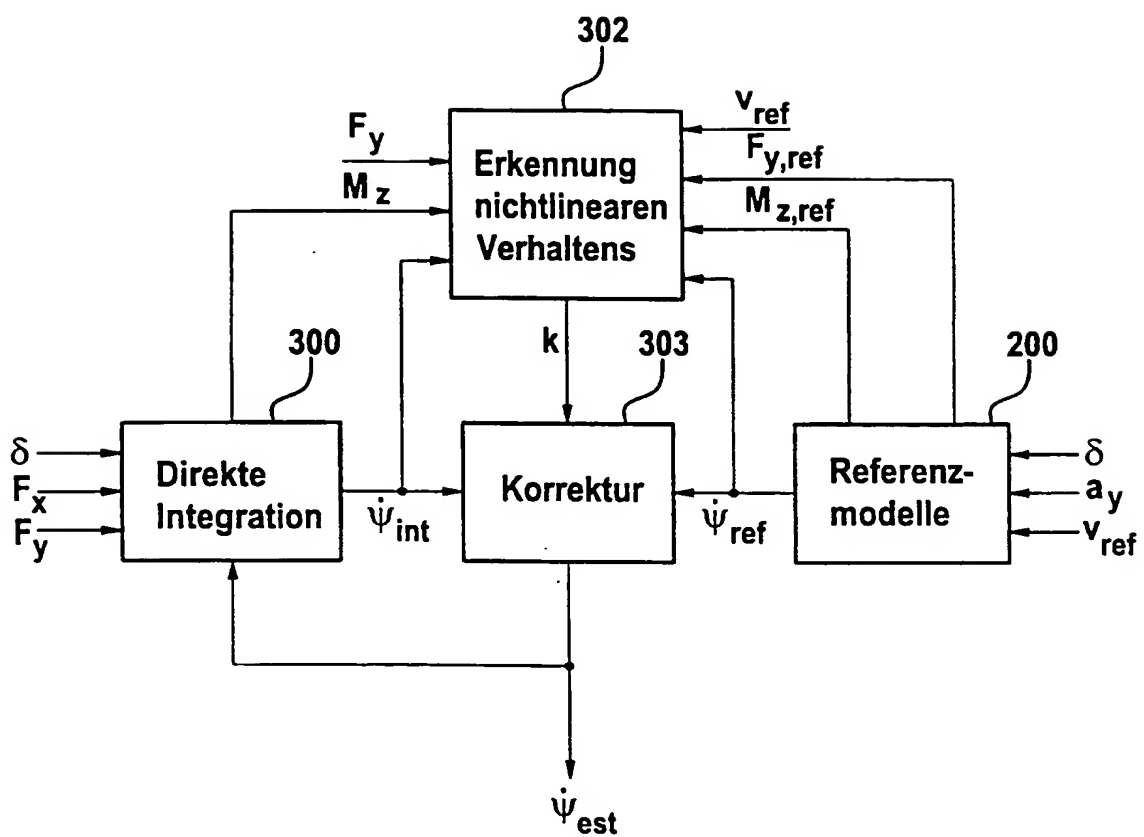


Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. l. Application No
PCT/EP 00/08799

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B60T8/00 B62D7/15 G05D1/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B60T B62D G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | DE 197 44 725 A (ITT MFG ENTERPRISES INC) 15 April 1999 (1999-04-15) page 1, line 63 -page 6, line 54; figures 2-5C ---- | 1 |
| A | DE 198 54 633 A (ABE MASATO ;HONDA MOTOR CO LTD (JP)) 17 June 1999 (1999-06-17) column 5, line 31 -column 6, line 49; figures 1,2 ---- | 1 |
| P,A | EP 0 980 804 A (GEN MOTORS CORP) 23 February 2000 (2000-02-23) page 3, line 12 - line 50; figure 2 ---- | 1 |
| P,A | EP 0 958 978 A (GEN MOTORS CORP) 24 November 1999 (1999-11-24) page 1, line 15 -page 5, line 27; figures 1-9 ----- -/-- | 1 |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 January 2001

Date of mailing of the international search report

09/01/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Blurton, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. l. Application No

PCT/EP 00/08799

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A | DE 196 24 795 A (ITT AUTOMOTIVE EUROPE) 2 January 1998 (1998-01-02) cited in the application the whole document ----- | 1 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/08799

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|--|--|
| DE 19744725 A | 15-04-1999 | WO 9919192 A EP 1021326 A | 22-04-1999 26-07-2000 |
| DE 19854633 A | 17-06-1999 | JP 11217067 A JP 11321604 A FR 2771366 A GB 2336412 A | 10-08-1999 24-11-1999 28-05-1999 20-10-1999 |
| EP 0980804 A | 23-02-2000 | US 6112147 A | 29-08-2000 |
| EP 0958978 A | 24-11-1999 | NONE | |
| DE 19624795 A | 02-01-1998 | WO 9749586 A EP 0906206 A JP 2000513295 T | 31-12-1997 07-04-1999 10-10-2000 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/08799

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B60T8/00 B62D7/15 G05D1/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B60T B62D G05D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | DE 197 44 725 A (ITT MFG ENTERPRISES INC) 15. April 1999 (1999-04-15) Seite 1, Zeile 63 -Seite 6, Zeile 54; Abbildungen 2-5C | 1 |
| A | DE 198 54 633 A (ABE MASATO ;HONDA MOTOR CO LTD (JP)) 17. Juni 1999 (1999-06-17) Spalte 5, Zeile 31 -Spalte 6, Zeile 49; Abbildungen 1,2 | 1 |
| P,A | EP 0 980 804 A (GEN MOTORS CORP) 23. Februar 2000 (2000-02-23) Seite 3, Zeile 12 - Zeile 50; Abbildung 2 | 1 |
| P,A | EP 0 958 978 A (GEN MOTORS CORP) 24. November 1999 (1999-11-24) Seite 1, Zeile 15 -Seite 5, Zeile 27; Abbildungen 1-9 | 1 |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Januar 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/01/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Blurton, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/08799

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| A | DE 196 24 795 A (ITT AUTOMOTIVE EUROPE) 2. Januar 1998 (1998-01-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ----- | 1 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/08799

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|--|--|
| DE 19744725 A | 15-04-1999 | WO 9919192 A EP 1021326 A | 22-04-1999 26-07-2000 |
| DE 19854633 A | 17-06-1999 | JP 11217067 A JP 11321604 A FR 2771366 A GB 2336412 A | 10-08-1999 24-11-1999 28-05-1999 20-10-1999 |
| EP 0980804 A | 23-02-2000 | US 6112147 A | 29-08-2000 |
| EP 0958978 A | 24-11-1999 | KEINE | |
| DE 19624795 A | 02-01-1998 | WO 9749586 A EP 0906206 A JP 2000513295 T | 31-12-1997 07-04-1999 10-10-2000 |